

**ESTUDIO DE FACTORES QUE CONTRIBUYEN EN LA FRECUENCIA DE
ACCIDENTES EN ZONAS URBANAS. CASO DE ESTUDIO BARRANQUILLA.**

**CAROLINA FRANCO IRIARTE
ALEXANDER MENDOZA ORTEGA**

TRABAJO DE GRADO

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA, ATLÁNTICO
2017**

**ESTUDIO DE FACTORES QUE CONTRIBUYEN EN LA FRECUENCIA DE
ACCIDENTES EN ZONAS URBANAS. CASO DE ESTUDIO BARRANQUILLA.**

**CAROLINA FRANCO IRIARTE
ALEXANDER MENDOZA ORTEGA**

TRABAJO DE GRADO

**TUTOR DE INVESTIGACIÓN: MSc. ANDREA ARÉVALO, MSc. MAURICIO
OROZCO**

**UNIVERSIDAD DE LA COSTA, CUC
FACULTAD DE INGENIERÍA
INGENIERÍA CIVIL
BARRANQUILLA, ATLÁNTICO**

2017

NOTA DE ACEPTACIÓN

Firma de jurado

Firma de jurado

AGRADECIMIENTOS

Agradecemos en primer lugar a Dios por ser nuestra fortaleza en todo momento.

Este proyecto se lo dedicamos a nuestros padres que nunca dejaron de creer en nosotros y siempre fueron un apoyo durante toda nuestra carrera.

También lo dedicamos a nuestros tutores los ingenieros Andrea Arévalo y Mauricio Orozco, que con su guía fueron parte vital para el desarrollo del proyecto. Y a nuestros compañeros de carrera los cuales hicieron parte de este camino recorrido.

CONTENIDO

INTRODUCCIÓN	12
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	13
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA	14
3. JUSTIFICACIÓN.....	15
4. ESTADO DEL ARTE.....	17
5. RECURSOS.....	21
6. MARCO TEÓRICO.....	22
6.1 DISTRIBUCIÓN DE POISSON.....	22
6.2 DISTRIBUCIÓN BINOMIAL NEGATIVO	24
6.3 DISTRIBUCIÓN CERO INFLADO.....	25
7. DISEÑO METODOLÓGICO.....	30
7.1 FASE 1: RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA ..	30
7.2 FASE 2: CONFORMAR UNA BASE DE DATOS CON LA INFORMACIÓN RECOLECTADA.....	30
7.3 FASE 3: SELECCIÓN DE LOS TIPOS DE MODELOS DE FRECUENCIA DE ACCIDENTES.....	31
7.4 FASE 4: MODELACIÓN PARA DETERMINAR FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ACCIDENTALIDAD.....	31
7.5 FASE 5: ANÁLISIS DE LAS VARIABLES INFLUYENTES Y RECOMENDACIONES.	32
8. RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA	33

8.1	FASE DE DATOS ACCIDENTALIDAD.....	33
8.2	INVENTARIO VIAL.....	38
8.3	AFOROS.....	45
8.4	VARIABLES DE MODELACIÓN	51
9.	RESULTADOS.....	53
9.1	MODELO 1	55
9.2	MODELO 2	58
10.	CONCLUSIONES.....	63
	REFERENCIAS	66

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Municipios con mayor cantidad de muertes y heridos por accidentes de tránsito. Colombia, 2015. FUENTE: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.....	15
Tabla 2. Resumen de los modelos existentes para análisis de datos frecuencia de accidentes. FUENTE : (LORD y MANNERING 2010).	29
Tabla 3. Tramos de estudio. FUENTE: Autores.	35
Tabla 4. Variables de estudio continuas. FUENTE: Autores.....	41
Tabla 5. Variables de estudio mudas. FUENTE: Autores.....	42
Tabla 6. Variables de estudio continuas - aforo. FUENTE: Autores.	48
Tabla 7. Variables utilizadas en los modelos. FUENTE: Autores.....	52
Tabla 8. Valores críticos Distribución T. Tomado de (Statistical and econometric methods for transportation analysis 2003)	54
Tabla 9. Resultados obtenidos modelo 1 para Poisson y Binomial Negativo. FUENTE: Autores.	56
Tabla 10. Resultados obtenidos modelo 2 para Poisson y Binomial Negativo. FUENTE: Autores.	59
Tabla 11. Resultados obtenidos modelo 3 para Poisson y Binomial Negativo. FUENTE: Autores.	61

LISTA DE GRÁFICAS

Gráfica 1. Número de accidentes por año en Barranquilla. FUENTE: Autores, basado en datos del Instituto Nacional de Medicina Legal.....	16
Gráfica 2. Accidentes con heridos en Barranquilla. FUENTE: Autores.	33
Gráfica 3. Accidentes fatales en Barranquilla. FUENTE: Autores.	34
Gráfica 4. Número de accidentes en los tramos seleccionados de la ciudad de Barranquilla. FUENTE: Autores.	37
Gráfica 5. Análisis estadístico estado de demarcación. FUENTE: Autores.....	42
Gráfica 6. Análisis estadístico señalización vertical. FUENTE: Autores.....	43
Gráfica 7. Análisis estadístico estado de la iluminación. FUENTE: Autores.....	43
Gráfica 8. Análisis estadístico estado del pavimento. FUENTE: Autores	44
Gráfica 9. Análisis estadístico vía multicarril. FUENTE: Autores.....	44
Gráfica 10. Análisis estadístico presencia de separador. FUENTE: Autores.	45
Gráfica 11. Análisis presencia carril Transmetro. FUENTE: Autores.....	45
Gráfica 12. Tránsito promedio diario en los tramos de estudio. FUENTE: Autores.....	49
Gráfica 13. Distribución del TPD. FUENTE: Autores.	49
Gráfica 14. Porcentaje de motos en los tramos de estudio. FUENTE: Autores.	50

LISTA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1. Tramos para el estudio. FUENTE: Autores., software Google Earth.	36
Ilustración 2. Medición ancho de carril – Calle 30. Fuente: Autores.	38
Ilustración 3. Estado de la demarcación – Calle 72. FUENTE: Autores.....	38
Ilustración 4. Estado del pavimento – Calle 19. FUENTE: Autores.	39
Ilustración 5. Estado de las señales verticales – Carrera 44. FUENTE: Autores.....	39
Ilustración 6. Aforos en la Calle 19. FUENTE: Autores.	46
Ilustración 7. Aforos en la Vía 40. FUENTE: Autores.....	46
Ilustración 8. Aforos en la Carrera 54 y Calle 72. FUENTE: Autores.....	47

RESUMEN

A nivel mundial, los accidentes de tránsito son considerados como la primera causa de muerte por violencia. En el 2015 según el Instituto Nacional de Medicina Legal, en Barranquilla se dio 104 decesos y 1330 heridos, es decir más del 50% de los casos presentados en el departamento del Atlántico. Una de las maneras de contrarrestar esta situación es identificar los diferentes factores que contribuyen a la frecuencia de accidentes, siendo este el objeto de estudio del presente proyecto. Para esto se procede a la modelación estadística de los accidentes usando las distribuciones de Poisson y Binomial Negativo, teniendo como fin determinar los factores que influye en la ocurrencia de estos.

De acuerdo al modelo utilizado, se obtienen como resultados distintas variables que intervienen, ya sea que estas incrementen la posibilidad de ocurrencia accidentes, tales como longitud de la vía, número de intersecciones, Transmetro, motos, entre otros, o bien sea contribuyendo a disminuirlos, como pasos peatonales, semáforo y demás. Todo esto para proceder a formular algunas recomendaciones que pueden ser tomadas en cuenta por las autoridades para poder contribuir a la disminución de siniestros en la ciudad.

Palabras claves: Accidentes de tránsito, modelación estadística, Poisson, Binomial Negativo, frecuencia de accidentes.

ABSTRACT

Globally, traffic accidents are considered the leading cause of death from violence. In 2015, according to the National Institute of Forensic Medicine, in Barranquilla, 104 deaths and 1330 injuries were reported, more than 50% of the cases presented in the Atlántico department. One of the ways to counteract this situation is to identify the different factors that contribute to the frequency of accidents, which is the object of study of this project. For this, we proceed to the statistical modeling of accidents using Poisson and Negative Binomial distributions, in order to determine the factors that influence the occurrence of these.

According to the model used, different variables are obtained that intervene, whether they increase the possibility of occurrence of accidents, such as length of the road, number of intersections, Transmetro, motorcycles, among others, or contributing to decrease them, such as pedestrian crossings, traffic lights and so on. All of this to be able to proceed to formulate some recommendations that can be taken into account by the authorities in order to contribute to the reduction of casualties in the city.

Key words: Traffic accidents, statistical modeling, Poisson, Negative Binomial, frequency of accidents

INTRODUCCIÓN

Los accidentes de tránsito, la principal causa de muertes fatales a nivel mundial, cobra diariamente la vida de aproximadamente 3.500 personas en las carreteras, donde los niños, peatones, ciclistas y ancianos son los usuarios más vulnerables. A nivel local en Barranquilla, las cifras no son nada alentadoras, pues cada año crece el número total de accidentes en la ciudad, y enfrentar esta problemática no ha sido nada fácil, pues muchos de los planes de choque o soluciones propuestas terminan sin ningún resultado favorable.

En el informe mundial de seguridad vial 2015, la OMS concluye que una legislación adecuada sobre los principales factores de riesgo puede ser de gran utilidad para reducir el número de traumatismos y muertes ocasionado por los accidentes de tránsito. Este proyecto está enfocado en conocer cuáles son esos factores que más influencia tienen en la frecuencia de accidentalidad de la ciudad de Barranquilla, apoyándonos en métodos de modelación estadística, tales como Poisson y Binomial negativo, para posteriormente evaluarlos y realizar recomendaciones con el fin de disminuir el índice de siniestros.

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Evaluar los factores que contribuyen en la frecuencia de accidentes en la ciudad de Barranquilla.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Realizar una revisión del estado del arte de modelos de accidentes en vías urbanas y rurales.
- Seleccionar los tramos críticos de accidentalidad en la ciudad de Barranquilla con base en información secundaria.
- Realizar un inventario vial de los tramos seleccionados para la evaluación de accidentes.
- Conformar una base de datos detallada a partir de la información primaria y secundaria.
- Realizar un análisis estadístico de la información recopilada.
- Aplicar diferentes modelos estadísticos para la determinación de los factores influyentes en la accidentalidad en los tramos de estudio.
- Analizar los resultados y brindar recomendaciones para la disminución de accidentes en la ciudad.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

A nivel mundial, los accidentes de tránsito son considerados como la primera causa de muerte por violencia. La OMS ya ha declarado este problema como un tema de salud pública debido a las altas cifras. Cada año, los accidentes de tránsito causan la muerte aproximadamente de 1,25 millones de personas en todo el mundo. Entre 20 y 50 millones de personas sufren traumatismos no mortales, y a su vez una proporción de estos padecen alguna forma de discapacidad¹.

En respuesta a esta problemática la OMS declaró el período 2011 – 2020 como la década de la seguridad vial, y Colombia lanzó el Plan Nacional de Seguridad Vial 2011 - 2016 con el fin de reducir el índice de accidentalidad. Sin embargo, las cifras del último informe de Medicina Legal (2015) son preocupantes, el número de muertes es el mayor de la última década (6.884 casos) y presenta un incremento de 7,53% con respecto al 2014. En cuanto a víctimas no fatales (45.806 casos), el incremento es de 3,70% comparado con el año 2014.².

Esta situación que se presenta en nuestro país se aprecia de mejor manera en sus principales ciudades, como es el caso de Barranquilla, que con su crecimiento económico, trae consigo un aumento en la movilidad que puede darse debido al turismo, negocios, entre otros, y con esto un aumento de accidentes, pudiéndose apreciar en reportes tales como los presentados por el IPAT (Informe Policial de Accidentes de Tránsito) en donde comparando hasta el mes de Agosto en el año 2016, con respecto al 2015 los accidentes aumentaron en un 6%, de 4016 a 4257 accidentes reportados³. Por esta razón es importante analizar cuáles son esos factores que afectan la frecuencia de accidentes, e identificar los más significativos, para tomar medidas y controlar el incremento de estos.

¹ Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2015. OMS

² Comportamiento de muertes y lesiones por accidentes de transporte. Forensis, 2015.

³ Indicadores. Accidentalidad en Agosto de 2016. Alcaldía de Barranquilla, 2016

3. JUSTIFICACIÓN

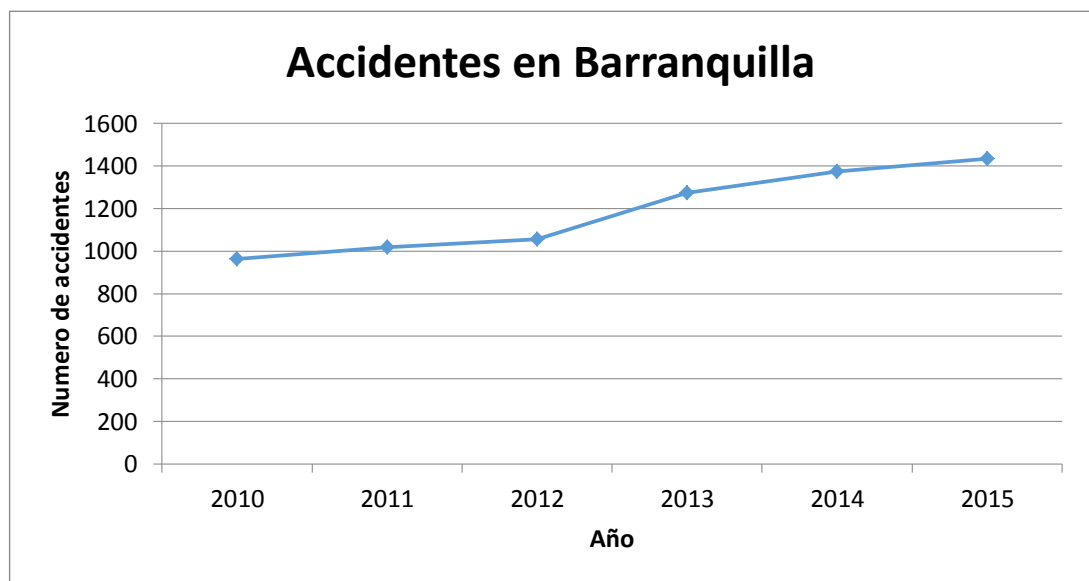
En el 2015 según el Instituto Nacional de Medicina Legal en el departamento del Atlántico se presentaron 238 muertos y 2.014 heridos en accidentes de Tránsito, en su capital Barranquilla se presentaron 104 de los decesos y 1330 heridos, es decir más del 50% de los casos del departamento se presentaron en su capital y con esto se confirma de primera mano que los accidentes de tránsito son un problema de salud pública los cuales deben ser tratados con la mayor seriedad posible. La siguiente tabla muestra el listado de los 10 municipios con mayor número de accidentes en el país, y se aprecia que Barranquilla se encuentra en el quinto lugar de la tabla con una tasa mayor al promedio nacional.

Posición	Municipio	Muertes		Heridos	
		Casos	Tasa x 100.000	Casos	Tasa x 100.000
1	Bogotá, D.C.	556	7,06	7.631	96,86
2	Cali	434	18,31	2.588	109,21
3	Medellín	277	11,24	2.909	118,04
4	Villavicencio	117	24,15	781	161,21
5	Barranquilla	104	8,54	1.330	109,15
6	Cartagena	97	9,68	725	72,37
7	Ibagué	97	17,52	1.757	317,42
8	Santa Marta	85	17,57	397	82,05
9	Soacha	84	16,43	119	23,28
10	Palmira	78	25,60	528	173,27
Total 10 departamentos		1.929	11,17	18.765	108,67
Total nacional		6.884	14,28	45.806	95,03

Tabla 1. Municipios con mayor cantidad de muertes y heridos por accidentes de tránsito. Colombia, 2015. FUENTE: Instituto Nacional de Medicina Legal y Ciencias Forenses.

En la ciudad son múltiples los motivos por los que se puede presentar un accidente de tránsito, ya sea por imprudencia de conductores o de los peatones, abuso del alcohol, errores de diseño geométrico de vías, entre otros factores. Barraquilla viene presentando un aumento del 6% con respecto al año 2015 en la

ocurrencia de accidentes de tránsito lo que hace despertar una preocupación de sus habitantes y atrae la atención de las autoridades para tomar medidas con respecto a esta situación, porque a pesar de las campañas de concientización aún son muchos los accidentes que se presenta en la ciudad, en la gráfica 1 se muestra cómo han venido aumentando los accidentes desde el año 2010. Es por eso que se busca que por medio de la aplicación de modelos sea posible determinar los diversos factores que influyen en la ocurrencia de accidentes de tránsito para que de esta manera se identifique aquellos que son determinantes y con esto plantear unas posibles correcciones y recomendaciones para disminuir la accidentalidad.



Gráfica 1. Número de accidentes por año en Barranquilla. FUENTE: Autores, basado en datos del Instituto Nacional de Medicina Legal

4. ESTADO DEL ARTE

Los accidentes de tránsito son una problemática que siempre ha estado presente en nuestra sociedad, debido a que nos afecta directamente ya sea con heridos o en el peor de los casos la muerte. Teniendo esto presente se busca maneras de disminuir la ocurrencia de los mismos.

Conscientes de, esta problemática varios autores (Miau, 1994; Shankar, 1995; Lord 2006; Mannering, 2003; Kumar, 2012; Agbelie, 2016; entre otros) son los que han enfocado por años su atención en esta y los factores que influyen en su ocurrencia, en especial al no tener información detallada que ayude a mejorar la identificación de las causas y la relación de los efectos con choques individuales de vehículos.

Es por esto que existen diferentes metodologías que han sido utilizadas, (Poisson, Binomial Negativo, Cero inflado, entre otras), cada una con sus fortalezas y debilidades y cada día evolucionan (Aplicaciones de parámetros aleatorios y modelos de mezcla finita) para ayudar a mejorar el entendimiento de los factores que afectan la frecuencia de accidentes dando así metodologías con información más detallada de estos. (LORD y MANNERING 2010).

Dentro de los modelos más comunes de frecuencia se encuentran Poisson y Binomial negativo. Son muchos los estudios en los que se utilizan estos modelos y tal es el caso del realizado por Miau (1994) donde evaluó el comportamiento de estos dos tipos de metodologías, más una tercera, el cero inflado de Poisson o ZIP (por sus siglas en inglés) estableciendo una relación entre los choques de camiones y el diseño geométrico de las secciones de vía, el método de máxima verosimilitud fue utilizado para estimar los coeficientes de los modelos. La evaluación de esto determinó que se recomienda el uso de la regresión de Poisson como punto de partida para desarrollar la relación debido a que este supera a los modelos de regresión lineal, así como es favorecido por la tasa exponencial de la función. Si la sobre dispersión es moderada o alta, ambos modelos, Binomial negativo y Cero inflado deben ser explorados.

En su trabajo, Shankar (1995), explora la frecuencia de accidentes en una autopista basado en la geometría de la vía, pero también teniendo en cuenta el clima y otros efectos de las estaciones. Por medio de Binomial negativo realizan estimaciones en conjunto con modelos de frecuencia para tipos específicos de accidentes. Los resultados arrojan una relación importante entre las variables geométricas propuestas y los efectos del ambiente.

Otra forma también de estudiar la ocurrencia de accidentes es utilizando factores influyentes como la demografía, específicamente la edad y género, como fue el caso de la investigación de Abdel- Aty & Radwan (2000) en donde utilizando varios modelos de Binomial Negativo predijeron la frecuencia de accidentes y encontraron que el volumen de tráfico pesado, la reducción del ancho de separador, mayor número de carriles, un ancho de carril estrecho , entre otros incrementan la posibilidad de ocurrencia de accidentes. Así como también encontraron que conductores mujeres experimentan mayores accidentes en vías de tráfico pesado, ancho de separador reducido, y altos números de carriles, en cambio los conductores hombres tienden accidentarse al acelerar. Y con respecto a las edades, los conductores menores y los mayores tienden a experimentar más accidentes que los conductores de mediana edad en volúmenes de tráfico pesado, y bermas y separadores reducidos.

En su trabajo Guerrero Barbosa, Espinel Bayona, & Palacio Sanchez (2015) determinaron la influencia de los factores asociados a la geometría y entorno vial, a los volúmenes vehiculares y a las velocidades en la frecuencia de accidentes en la red vial urbana calibrando un modelo basado en regresiones tipo Poisson y Binomial Negativa. En donde obtuvieron como resultado que variables como el ancho de calzada, número de intersecciones, tipo de pavimento, volúmenes vehiculares (desagregado en motocicletas, vehículos livianos y pesados) y la velocidad media de circulación se relacionan con las tasas de accidentes.

Otros como Shenker, Chowksey, & Sandhu (2015), utilizaron el análisis por regresión lineal múltiple, en donde los porcentajes calculados de accidentes se relacionaron de manera significativa con los parámetros de diseño de la vía de

estudio (Carretera nacional en Karnataka), tales como curvas horizontales, ancho de calzada, rugosidad de carreteras entre otros.

De la frecuencia de accidentes también nace el interés de los investigadores en identificar los tramos de vía donde se presentan mayor accidentalidad y que los ocasiona para así poder tomar las correcciones necesarias, y tal es el caso de Cantillo, Garcés, & Márquez (2016) que mediante el método bayesiano empírico basado en SIG lograron determinar un total de 69 tramos críticos de accidentalidad Cartagena (Colombia) y se evidenció que el efecto marginal sobre la accidentalidad de las motocicletas es muy superior al de autos y buses. También se encontró evidencia empírica que los tramos ubicados en zonas comerciales tienden a presentar mayor frecuencia de accidentes debido a la alta presencia de peatones.

Siguiendo con la interacción de los diferentes factores, Xi, Zhao, L, & Quan (2016) proponen el Proceso Analítico Jerárquico (AHP por sus siglas en inglés), para luego aplicar el algoritmo Apriori y así analizar el grado de accidente o el nivel de influencia concluyendo entonces que los factores de mayor influencia son : la experiencia del conductor, sobrecarga o no, conductores del camino y las condiciones climáticas, agregando además que existe una fuerte correlación entre los factores ambientales y el tipo de accidente. Establecieron que el algoritmo AHP-Apriori disminuye errores y reduce la cantidad de cálculos requeridos al filtrar los factores de menor contribución en los accidentes.

En su trabajo Chiuo & Fu, (2013) se valen de un modelo integrado bajo la arquitectura de Poisson multinomial generalizado (MGP) para analizar simultáneamente la frecuencia y la severidad de accidentes haciendo estimaciones que han resultado eficientes y útiles.

Son múltiples los resultados que se pueden apreciar con respecto a la accidentalidad y su modelación, dependiendo del grado de rigurosidad de la investigación y el campo que esta abarque es posible determinar diferentes aspectos que son herramientas para el adecuado análisis de esta problemática.

En este trabajo se busca por medio de la modelación de accidentes identificar los factores determinantes en la ocurrencia de estos, centrado en la ciudad de Barranquilla, Colombia.

5. RECURSOS

- Base de datos de accidentes de tránsito con lesionados y fallecidos en el departamento del Atlántico para los años 2013,2014 y mediados de 2015.
Fuente: Medicina Legal, Forensis
- Personal para aplicación de herramientas de toma de información como inventario vial, aforos, etc.
- Cinta métrica, odómetro.
- Cámara digital
- Software para modelación R.

R Core Team. R: A language and environment for statistical computing. R Foundation for Statistical Computing, Vienna, Austria.
- Bases de datos de búsqueda especializadas, tales como ScienceDirect, Scopus, Elsevier, entre otras.

6. MARCO TEÓRICO

Al estudiar los accidentes de tránsito, uno de los puntos de interés es poder predecir la frecuencia con que estos ocurrirán y por consiguiente los factores que los desencadenan para así poder mitigar sus efectos de la mejor manera. Pero hoy en día, es aún difícil estudiar algunos datos que tienen que ver con el comportamiento al momento del choque, las velocidades, aceleración, entre otros por su limitado acceso. Teniendo esto presente los investigadores se han enfocado en estudiar los factores que afectan el número de accidentes que ocurren en algún espacio geográfico, durante un período de tiempo específico, y de esta manera asociar para disponer de datos adecuados para la estimación de modelos estadísticos. (LORD y MANNERING 2010).

Para realizar estos análisis existen una variedad de métodos que han sido aplicados, por lo que es necesario explicar algunos de los más relevantes:

6.1 DISTRIBUCIÓN DE POISSON

Es una distribución discreta en donde la variable aleatoria suele estudiar el número de eventos independientes que ocurren a velocidad constante en un intervalo de tiempo o espacio.

Este proceso posee las siguientes propiedades:

- Los sucesos son independientes y aparecen en el soporte continuo de forma aleatoria, es decir es un proceso sin memoria, donde el resultado que haya ocurrido anteriormente no influye en resultados posteriores.
- El proceso es estable, es decir a largo plazo produce un número medio de sucesos constantes λ por intervalo de tiempo o espacio. (SERRET MORENO-JIL 1995).

Sea una X variable aleatoria que representa el número de eventos aleatorios independientes que ocurren a una rapidez constante sobre el tiempo o el espacio. Se dice entonces que la variable aleatoria X tiene una distribución de Poisson con función de probabilidad.

En el modelo de regresión de Poisson, la probabilidad de que en una entidad de la carretera (segmento, intersección, etc.) i teniendo y_i choques por un determinado periodo de tiempo (donde y_i es una integral no negativa) está dado por: (LORD y MANNERING 2010).

$$P(y_i) = \frac{EXP(-\lambda_i)\lambda_i^{y_i}}{y_i!} \quad (1)$$

Donde $P(y_i)$ es la probabilidad de que una sección de carretera i tenga y_i choques en un periodo de tiempo y λ_i es el parámetro de Poisson para una sección de carretera i , que es igual a una sección de carretera $i's$ que espera un número de accidentes por año, $E[y_i]$.

Tenemos entonces que la media $E[y_i]$ es igual a la varianza $VAR[y_i]$.

Los modelos de regresión de Poisson se estiman especificando el parámetro λ_i (los accidentes esperados por periodo) como función de la variable de predicción, la forma más común es, $\lambda_i = EXP(\beta X_i)$, donde X_i es un vector de variable de predicción y β es un vector de parámetros estimables.

A pesar de que el modelo de Poisson ha servido como punto de partida para el análisis de la frecuencia de accidentes por varias décadas, investigadores han encontrado que los datos exhibidos de los accidentes presentan características que hacen de la simple aplicación de Poisson algo problemático. Específicamente, los modelos de Poisson no pueden manejar sobre dispersión (la varianza exceda la media) o baja dispersión, puede producir resultados sesgados en las pequeñas muestras, por lo que no es recomendable utilizarlo en estas.

Como cita Lord (2006) la sobre dispersión puede ser causada por varios factores tales como, agrupación de datos, falta de especificaciones en el modelo, una correlación temporal no contabilizada pero se ha demostrado que se atribuye mayormente a la naturaleza actual del proceso del choque, saber, el hecho de que los datos de accidentes son el producto de ensayos de Bernoulli con una probabilidad desigual de eventos.

6.2 DISTRIBUCIÓN BINOMIAL NEGATIVO

A pesar de que se han desarrollado diferentes distribuciones basadas en Poisson para combatir la sobredispersión, la distribución más usada para modelación de accidentes es la Poisson –gamma o Binomial negativa. La distribución de Poisson-gamma ofrece una manera simple de acomodar a sobredispersión, especialmente desde que la ecuación final tenga una forma cerrada y la relación entre la varianza y la media sea simple. (LORD 2006).

Este modelo es considerado una extensión de Poisson para superar la posible la sobre dispersión ($E[y_i] < VAR[y_i]$).

Este modelo se deriva reescribiendo la ecuación de Poisson⁴

$$\lambda_i = EXP(\beta X_i + \varepsilon_i) \quad (2)$$

Donde $EXP(\varepsilon_i)$ es un término de distribución de gamma con media 1 y varianza α^2 . La adición de este término permite a la varianza diferenciarse de la media así

$$VAR[y_i] = E[y_i][1 + \alpha E[y_i]] = E[y_i] + \alpha E[y_i]^2 \quad (3)$$

⁴ (WASHINGTON, MATTHEW y MANNERING 2003)

Esta distribución es adecuada para modelar el comportamiento de variables aleatorias continuas con asimetría positiva. Es decir variables que presentan una mayor densidad de sucesos a la izquierda de la media que a la derecha.

Los valores de esperanza y varianza quedan determinados mediante:

$$\begin{aligned}VAR[y_i] &= \alpha\beta^2 \\E[y_i] &= \alpha\beta\end{aligned}$$

Como lo citan en su trabajo Lord & Mannering (2010), el modelo de binomial negativo es probablemente el más usado en la modelación de accidentes para predecir su frecuencia. A pesar de esto el modelo tiene sus limitaciones, la más notable es la incapacidad de manejar datos de baja dispersión.

6.3 DISTRIBUCIÓN CERO INFLADO

Los modelos de cero inflado han sido aplicados para hacer frente a los datos caracterizados por una cantidad significativa de observaciones de ceros o muchas más observaciones de cero que se esperaría en un modelo tradicional tal como Poisson o Binomial negativo. El modelo de cero inflado opera en el principio de que el exceso de ceros es contado por un régimen de división que modela un estado virtualmente seguro versus una propensión de choque de una entidad de carretera. La probabilidad de una intersección siendo cero o no cero puede ser determinado por binario logit o modelo probit. (DONG, y otros 2014).

La hipótesis básica de los modelos de cero inflado es que la población consiste en dos posibles estados. Los modelos de cero inflado separan el proceso de los ceros verdaderos del patrón de conteo en modelos como Poisson y Binomial Negativo, y deja que factores contribuyan a la influencia de estos dos estados. En el caso del estudio de accidentes, este sistema dual puede ser expresado como la

función probabilidad asumiendo q_i sea la probabilidad de intersección i exista en el estado de accidente cero y $(1 - q_i)$ es la probabilidad de que una observación de cero accidentes siga una distribución de como Poisson o Binomial Negativa. (KUMARA y CHIN 2010).

El modelo Cero Inflado Poisson (CIP) es utilizado en casos de exceso de ceros y el Cero Inflado Binomial Negativo (CIBN) para resolver el problema del sobredispersión presentada con Poisson y el exceso de ceros.

Para describir el modelo de Cero Inflado Poisson, decimos que P_{it} es la probabilidad de exceso de ceros de un segmento i en un periodo de tiempo t , y $(1 - P_{it})$ sea la probabilidad de frecuencia de accidentes derivada de la distribución de Poisson. El modelo está dado por: (HOSSEINPOUR, YAHAYA y SADULLAH 2014).

$$P(Y = y_{it}) = \begin{cases} P_{it} + (1 - P_{it})e^{\mu_{it}} & y_{it} = 0 \\ (1 - P_{it}) \frac{e^{\mu_{it}} \mu_{it}^{y_{it}}}{y_{it}!} & y_{it} > 0 \end{cases} \quad (4)$$

En donde y_{it} es el número de accidentes por segmento i en el año t , μ_{it} es la cantidad de accidentes esperados en un segmento i como la función de la covarianza $\mu_{it} = \exp(\beta X_{ij})$, y P_{it} es la probabilidad de tener ceros accidentes, en el cual se utiliza el modelo de regresión logística como sigue: (HOSSEINPOUR, YAHAYA y SADULLAH 2014) .

$$P_{it} = \frac{\exp(K_{it}\pi)}{1 + \exp(K_{it}\pi)} \quad (5)$$

Donde $K_{it} = (K_{it1}, \dots, K_{itm})$ es una función de variables explicativas y $\pi_{it} = (\pi_{it1}, \dots, \pi_{itm})$ son los coeficientes a estimar.

Similar al modelo CIP, el modelo Cero inflado Binomial negativo está dado por la ecuación:

$$P(Y = y_{it}) = \left\{ \begin{array}{ll} P_{it} + (1 - P_{it}) \frac{1}{(1 + \alpha \mu_{it})^{1/\alpha}} & y_{it} = 0 \\ (1 - P_{it}) \frac{T(y_{it} + (1/\alpha))}{T(y_{it} + 1)T(1/\alpha)} \frac{(\alpha \mu_{it})^{y_{it}}}{(1 + \alpha \mu_{it})^{y_{it} + (1/\alpha)}} & y_{it} > 0 \end{array} \right\} \quad (6)$$

Donde α es un parámetro de dispersión y T es la función gama para el modelo CINB.

Así como existen estos modelos que son los más tradicionales, con el tiempo se han venido desarrollando muchos otros, algunos tienen como base a estos iniciales, cada uno con sus ventajas y desventajas al momento de ser utilizados. Es por eso que Lord (2010) en su trabajo muestra un resumen de los diferentes métodos que se han utilizado para el estudio frecuencia de accidentes, presentándolo en la siguiente tabla:

MODELO	VENTAJAS	DESVENTAJAS
Poisson	El modelo más básico y fácil de estimar.	No se puede manejar el exceso o baja dispersión; no es recomendada para muestras pequeñas
Binomial Negativa o Poisson Gamma	Fácil estimación. Puede tener en cuenta el exceso de dispersión.	No se puede manejar la baja dispersión. No es recomendada para muestras pequeñas.
Cero Inflado Poisson y Binomial Negativo	Maneja conjuntos de datos con exceso de ceros.	Puede tener inconsistencias. Cero Inflado – Binomial Negativo no es recomendada para muestras pequeñas.

Conway– Maxwell–Poisson	Puede manejar bajo y exceso de dispersión o la combinación de ambos usando un parámetro de variable de dispersión.	No es recomendada para muestras pequeñas. Sin extensiones multivariadas disponibles a la fecha
Gamma	Puede manejar datos con baja dispersión	Se tiene problemas de cálculo en la estimación de los parámetros muestrales
Estimación de Ecuaciones Generalizadas	Puede manejar correlación temporal	Puede ser necesario para determinar o evaluar los tipos de correlación temporal a priori. Resulta sensible a valores faltantes
De Efecto Aleatorio	Maneja correlación temporal y espacial.	Pueden no ser fácilmente transferibles a otros conjuntos de datos
Multinomial negativo	Puede explicar el exceso de dispersión y correlación	No se puede manejar la baja dispersión. No es recomendada para muestras pequeñas.
Parámetros Aleatorios	Más flexible que los modelos de parámetros fijos tradicionales en considerar la heterogeneidad no observada.	El proceso de estimación es complicado. Pueden no ser fácilmente transferibles a otros conjuntos de datos.
Bivariado Multivariado	Puede modelar diferentes tipos de accidentes de manera simultánea. Su forma funcional es más flexible que los modelos de ecuaciones de estimación generalizada (puede utilizar las funciones no lineales).	Es un proceso complejo, requiere la formulación de una matriz de correlación.
Jerárquico Multinivel	Puede manejar correlaciones temporales,	Puede no ser fácilmente transferible a otro set de

	espaciales y demás en grupos de observación.	datos, los resultados de las correlaciones pueden ser difíciles de manejar.
Redes Neuronales, Red Neuronal Bayesiana	Enfoque no paramétrico, forma funcional flexible. Por lo general proporciona un mejor ajuste estadístico que los modelos paramétricos tradicionales.	Proceso de estimación complejo. No es transferible a otros conjuntos de datos. Trabaja como cajas negras. Puede que no tenga parámetros interpretables.

Tabla 2. Resumen de los modelos existentes para análisis de datos frecuencia de accidentes. FUENTE : (LORD y MANNERING 2010).

7. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el desarrollo del proyecto, se establecieron cinco fases que se llevarán a cabo con el fin de cumplir a cabalidad con los objetivos propuestos. A continuación se explicarán brevemente cada una de ellas y a lo largo del documento se profundizara sobre el desarrollo de las mismas:

7.1 FASE 1: RECOLECCIÓN Y ANÁLISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA

En primer lugar, se requiere establecer la situación de la ciudad con respecto a la accidentalidad, y esto se logra por medio de la recolección de información acerca de los accidentes de tránsito. Se busca una base de datos, en la que se reporta la accidentalidad en la ciudad en diferentes años (2013, 2014 y mediados de 2015). Con los accidentes se procede a su georreferenciación con la ayuda del programa Google Earth. Posteriormente, se analizan en conjunto los accidentes ocurridos durante los tres años para así determinar los tramos viales con más accidentes, los cuales será objeto de estudio, teniendo en cuenta que para un mejor estudio los tramos deben ser homogéneos es decir que estos posea condiciones similares de geometría, entorno y tránsito.

Con los tramos viales escogidos se realiza un levantamiento, es decir un inventario vial del cual se obtendrán datos tales como el número de señales de tránsito, si existe o no paso peatonal, presencia semáforos, entre otras cosas. Además de los tramos escogidos es necesario realizar aforos para conocer los flujos que estos manejan y poder obtener los TPD de estos.

7.2 FASE 2: CONFORMAR UNA BASE DE DATOS CON LA INFORMACIÓN RECOLECTADA

Con los datos recolectados de cada tramo vial a estudiar se conformará una base de datos robusta diferenciada de acuerdo a las variables a estudiar y con esto poder hacer en primera instancia un análisis estadístico por medio de tablas y gráficas de la situación actual. Esta base de datos sería una de las principales herramientas para el desarrollo del proyecto, debido a que por medio de esta se filtran las variables a utilizar en la modelación, teniendo en cuenta los diferentes factores y la relación que estos tengan en la accidentalidad y los tramos viales y de esta manera poder desarrollar los diferentes modelos econométricos.

7.3 FASE 3: SELECCIÓN DE LOS TIPOS DE MODELOS DE FRECUENCIA DE ACCIDENTES.

Existen diferentes modelos que pueden ser utilizados para el análisis de datos de accidentes, en este caso se utilizan los modelos de predicción en donde se preverá futuros accidentes teniendo como base las condiciones actuales de la vía , y de esta manera presentar unas variables que afectan o no la frecuencia de los accidentes. Es necesario entonces, hacer un comparativo de los distintos modelos de predicción de accidentes, dentro de los que se encuentran: Poisson, Binomial negativo, multinomial negativo, entre otros.

7.4 FASE 4: MODELACIÓN PARA DETERMINAR FACTORES QUE INFLUYEN EN LA ACCIDENTALIDAD.

Luego de obtener un comparativo de los tipos de modelos, se procederá a la modelación estadística de los accidentes, teniendo como fin determinar los factores que influye en la ocurrencia de estos. De acuerdo al modelo utilizado, se obtendrán como resultados distintas variables que intervienen en la frecuencia de los accidentes, es ahí donde entra a jugar un papel importante la elasticidad y los efectos que cause cada variable en la accidentalidad.

7.5 FASE 5: ANÁLISIS DE LAS VARIABLES INFLUYENTES Y RECOMENDACIONES.

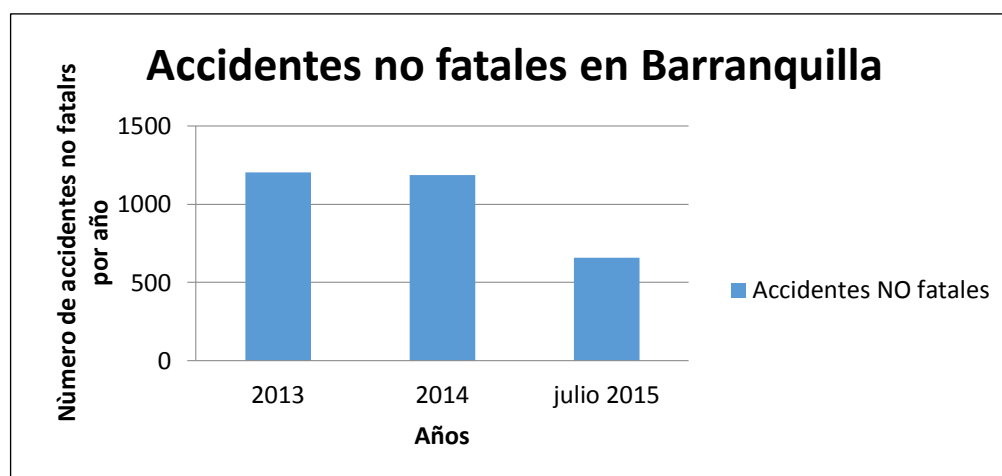
Finalmente se tendrán en cuenta las variables que influyen en la frecuencia de accidentes de tránsito, diferenciando cuales tienen mayor significancia en la ocurrencia de accidentes y cuales contribuyen a la disminución de estos, y con esto proponer diferentes medidas de control que se podrían tomar dependiendo si la variable influyente es un elemento geométrico como el ancho de carril, presencia de separador, ancho de separador, entre otros, o un actor de la vía como peatones, motociclistas y demás, y así proceder a formular algunas recomendaciones que pueden ser tomadas en cuenta por las autoridades para poder contribuir a la disminución de accidentes en la ciudad.

8. RECOLECCIÓN DE DATOS Y ANALISIS DE LA INFORMACIÓN SECUNDARIA

La información sobre los factores de estudio que serán utilizados en el modelo, fue recolectada de diferentes formas. Por medio de un inventario vial, para conocer el entorno y la geometría de la vía, aforos, para la toma de datos sobre tránsito en los tramos seleccionados, y la búsqueda de una base de datos sobre accidentalidad en la ciudad de Barranquilla.

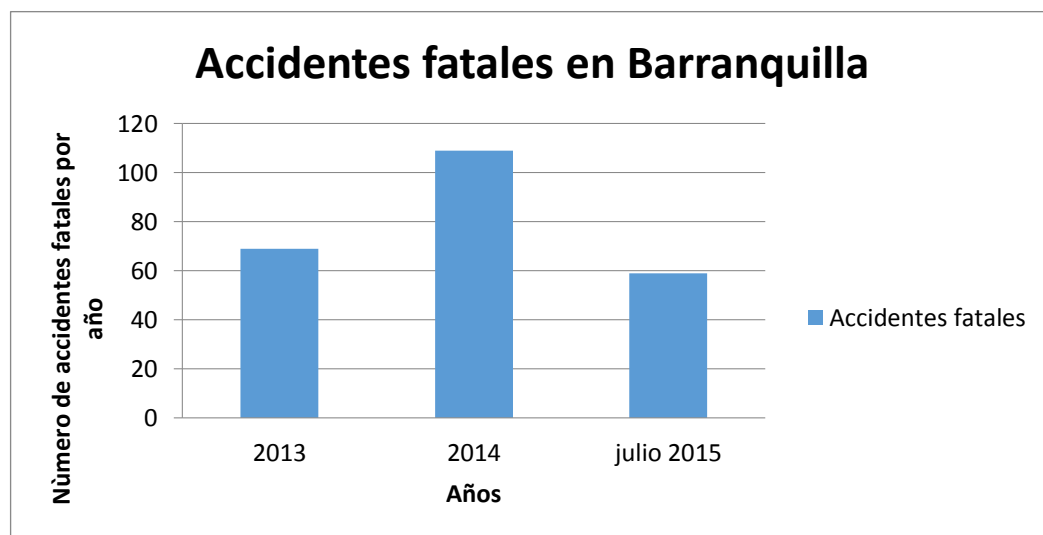
8.1 FASE DE DATOS ACCIDENTALIDAD

Para el desarrollo del presente proyecto fue necesaria una base de datos en la que se tuvieran registros de accidentes de tránsito para diferentes años, para esta investigación fue posible obtener de los años 2013, 2014 y mediados de 2015, para accidentes fatales y accidentes con heridos, por parte del Instituto de Medicina Legal.



Gráfica 2. Accidentes con heridos en Barranquilla. FUENTE: Autores.

La gráfica 2 muestra el total de accidentes no fatales en Barranquilla, según esta información, hay una variación de 18 accidentes entre los años 2013 y 2014. Para el año 2015, la base de datos sólo brinda información hasta el mes de Julio, fecha hasta la cual se presentaron 657 accidentes leves. La gráfica 3, contiene la información sobre los accidentes fatales, los cuales vienen aumentando de manera significativa, convirtiéndose así en un punto que debe ser atendido, ya que de tomarse las medidas de contingencia adecuadas, muchas serían las personas que estarían a salvo.



Gráfica 3. Accidentes fatales en Barranquilla. FUENTE: Autores.

Los accidentes fueron ubicados en el mapa de la ciudad de Barranquilla, utilizando la herramienta Google Earth. Se tomaron 19 tramos viales para el estudio, basados en la longitud, ubicación, número de accidentes y homogeneidad de la vía, obteniendo así los siguientes:

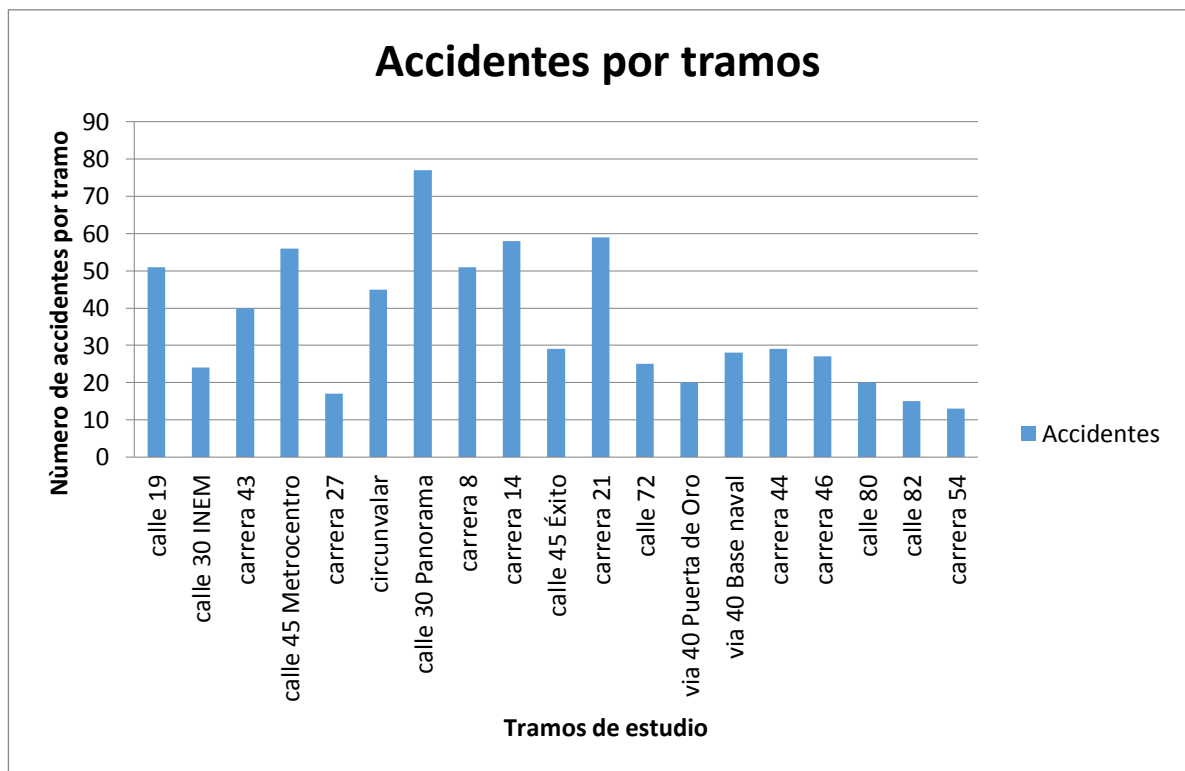
ID	TRAMOS	LONGITUD (KM)
1	Calle 19 (Boulevard Simón Bolívar)	1.5
2	Calle 30 INEM (entre Cra 30 de soledad y circunvalar)	1

3	Carrera 43 (entre calle 45 y calle 69)	1.96
4	Calle 45 Metrocentro (Murillo - entre Cra 1 y Cra 8)	1.8
5	Carrera 27 (entre Calle 57 y Calle 72)	1.49
6	Circunvalar (entre Cra 13 y Cra 38)	1.67
7	Calle 30 Panorama (entre circunvalar y Cra 21)	2.72
8	Carrera 8 (entre calle 30 y calle 45)	1.66
9	Carrera 14 (entre calle 30 y calle 56)	2.13
10	Calle 45 Éxito (Murillo - entre Cra 14 y Cra 27)	1.86
11	Carrera 21 (entre calle 30 y calle 64)	2.65
12	Calle 72 (entre Cra 38 y Cra 54)	1.87
13	Vía 40 Puerta de Oro (entre calle 76 y calle 87)	2.13
14	Vía 40 Base naval (entre calle 45 y calle 73)	1.82
15	Carrera 44 (entre calle 45 y calle 70)	2.21
16	Carrera 46 (entre calle 45 y calle 72)	2.43
17	Calle 80 (entre Cra 42F y Cra 51)	1
18	Calle 82 (entre Cra 42H y Cra 59B)	1.77
19	Carrera 54 (entre calle 64 y calle 76)	1.49

Tabla 3. Tramos de estudio. FUENTE: Autores.



Ilustración 1. Tramos para el estudio. FUENTE: Autores., software Google Earth.



Gráfica 4. Número de accidentes en los tramos seleccionados de la ciudad de Barranquilla.
FUENTE: Autores.

La ilustración 1 muestra los tramos seleccionados para el estudio, ubicados sobre el mapa de Barranquilla y representados con líneas rojas, y la gráfica 4 presenta la cantidad de accidentes con heridos y accidentes fatales en cada uno de los tramos de estudio. En la gráfica es posible apreciar que las vías más importantes de la ciudad, como lo son la Circunvalar, calle 30, calle 19 y calle 45, registran un gran número de accidentes. Esto era de esperarse si se tiene en cuenta que en este tipo de vías circula una gran cantidad de vehículos, que además lo hacen a altas velocidades, y por tal motivo son más frecuentes los accidentes.

8.2 INVENTARIO VIAL

Parte también de la recolección de datos para conformar la base, comprende realizar un inventario vial, en donde se hace un levantamiento de los tramos de estudio de la ciudad, previamente escogidos en el ítem anterior, de los cuales se obtienen datos tales como: número de sentidos, presencia de semáforos, pasos peatonales, número de carriles, ancho de carril, entre otros.



Ilustración 2. Medición ancho de carril – Calle 30. Fuente: Autores.



Ilustración 3. Estado de la demarcación – Calle 72. FUENTE: Autores.



Ilustración 4. Estado del pavimento – Calle 19. FUENTE: Autores.



Ilustración 5. Estado de las señales verticales – Carrera 44. FUENTE: Autores.

Todos estos datos se consignan en la base para así determinar con que variables se va a trabajar en el proyecto, cuáles podrían servir y cuáles no. Para el estudio estadístico de las variables, se han dividido en dos grupos, mudas y continuas. Las mudas solo toman valores de 1 ó 0, mientras que las continuas lo hacen dentro de un rango de valores.

VARIABLE	NOMENCLATURA EN EL MODELO	DESCRIPCIÓN	MIN	MAX	DESV
ACCIDENTES	ACC	Número de accidentes	13	77	18,245
LONGITUD	LONG	longitud del segmento de la vía en kilómetros	1	2,72	0,468
VELOCIDAD	VEL	Límite de velocidad en el segmento vial, en km/h	30	60	9,177
ANCHO DE CALZADA	CALZADA	Indica el ancho de calzada promedio del segmento vial, está dado en metros	6,1	42	8,941
ANCHO DE SEPARADOR	ANCHOSEP	Ancho promedio del separador vial en el tramo	0	22,8	5,264
NÚMERO DE PASOS PEATONALES	PASOPEAT	Número de pasos peatonales por segmento vial	0	13	4,087
NUMERO DE INTERSECCIONES	INTER	Número de intersecciones por longitud	6	39	8,583
SEMAFOROS	SEMAFORO	Número de intersecciones con semáforos	0	13	4,166

PRESENCIA DE PARE	PARE	Número de intersecciones con señal de pare	0	34	9,187
-------------------	------	--	---	----	-------

Tabla 4. Variables de estudio continuas. FUENTE: Autores.

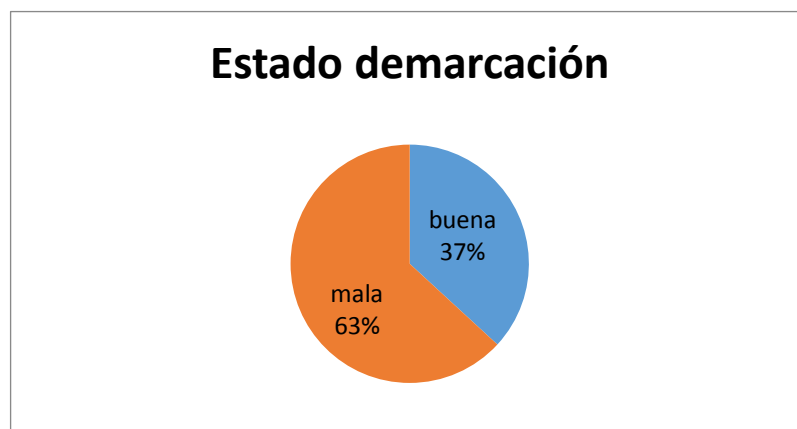
La tabla 4 presenta la información general de las variables de estudio continuas tomadas del inventario vial. Es posible apreciar que la longitud de los tramos varía entre 1 Km y 2,72 Km, y que en ellos el número de intersecciones varía entre 6 y 39. Los límites de velocidad permitidos se encuentran entre 30 Km/h y 60 Km/h, el ancho de la calzada puede variar entre los 6,1 m y los 42 m, y el ancho del separador más grande que presenta una vía es de 22,8 m en la calle 19. La vía con mayor número de pasos peatonales tiene apenas 13, al igual que el número de semáforos, con 13 también. Por último se puede encontrar hasta 34 señales de pare en uno de los tramos de estudio.

VARIABLE	NOMENCLATURA EN EL MODELO	DESCRIPCIÓN
CARRIL DE TRANSMETRO	CTTRANS	1 = Presencia de carril, 0 = No presencia
SEPARADOR VIAL	SEP	1 = Presencia de separador, 0 = No presencia
ESTADO DE DEMARCACIÓN	DEMAR	1 = Buena, 0 = Mala
ESTADO DE LA SEÑALIZACIÓN VERTICAL	SENALVER	1 = Buena, 0 = Mala
ESTADO DE ILUMINACIÓN	ILUM	1 = Buena, 0 = Mala
ESTADO DE PAVIMENTO	PAV	1 = Bueno, 0 = Malo

MULTICARRIL	SENTIDOS	1 = dos carriles, 0 = un carril
-------------	----------	---------------------------------

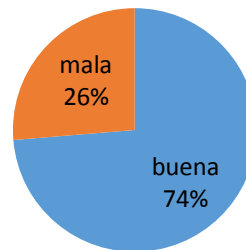
Tabla 5. Variables de estudio mudas. FUENTE: Autores.

La tabla 5 contiene la descripción de las variables mudas y la gráficas de la 5 a la 11, el análisis estadístico de estas. Con respecto a las demarcaciones en la ciudad de Barranquilla, estas se encuentran en un mal estado en alrededor de un 63% de los tramos viales estudiados, esta variable está relacionada con los pasos peatonales, pues estos pertenecen a las señales de tránsito horizontales. El mal estado de estas señales puede ser un factor decisivo en la frecuencia de accidentalidad, puesto que una buena demarcación mantiene prevenido por igual a conductores y peatones. Por otro lado vemos que el 74% de los tramos tiene señales verticales en buen estado, el 86% buena iluminación y el 100% un buen estado del pavimento en general. Vemos que el 84% de las vías son multicarril, es decir que tienen doble sentido, y 63% de los tramos tienen separador. Por último solo el 16% de los tramos presenta un carril exclusivo para el Transmetro.



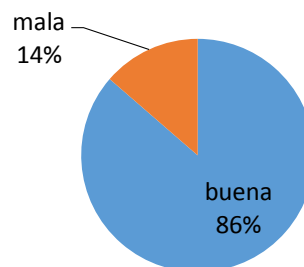
Gráfica 5. Análisis estadístico estado de demarcación. FUENTE: Autores.

Estado señalización vertical



Gráfica 6. Análisis estadístico señalización vertical. FUENTE: Autores.

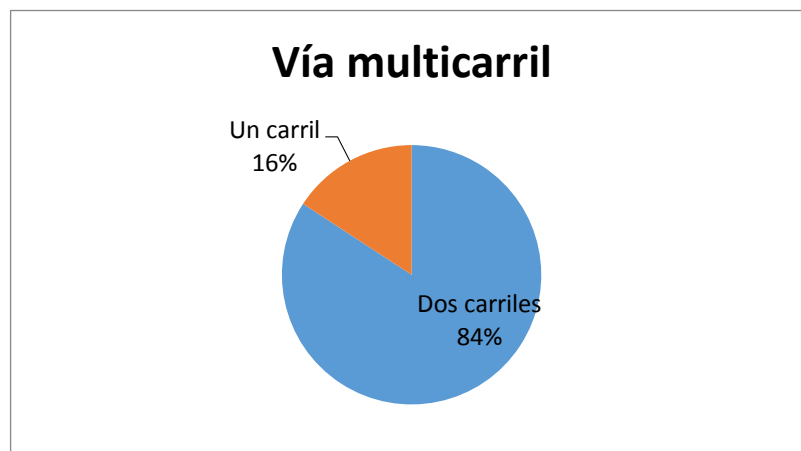
Estado de la iluminación



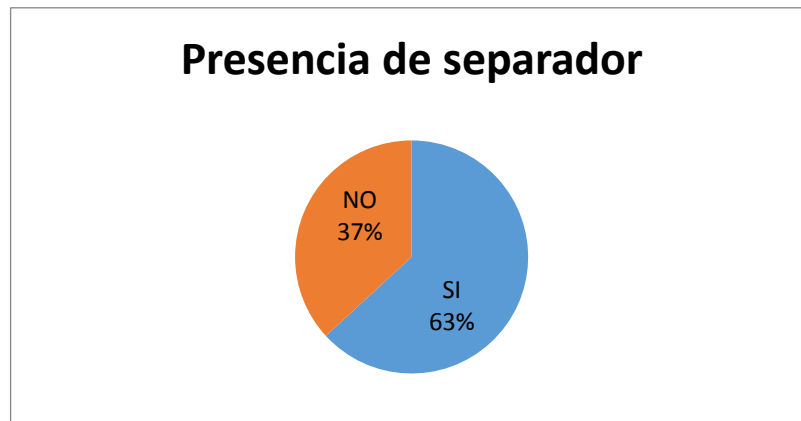
Gráfica 7. Análisis estadístico estado de la iluminación. FUENTE: Autores.



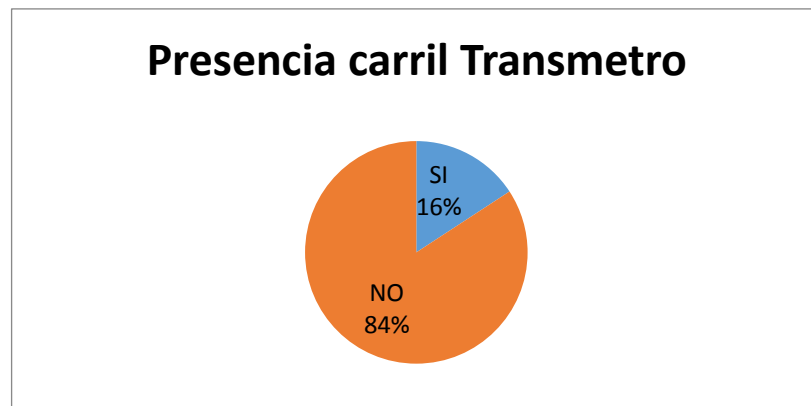
Gráfica 8. Análisis estadístico estado del pavimento. FUENTE: Autores



Gráfica 9. Análisis estadístico vía multicarril. FUENTE: Autores.



Gráfica 10. Análisis estadístico presencia de separador. FUENTE: Autores.



Gráfica 11. Análisis presencia carril Transmetro. FUENTE: Autores.

8.3 AFOROS

Otra parte vital para conformar la base de datos del proyecto es lo comprendido en los aforos, ya que para conocer el flujo en los tramos viales a estudiar es necesario realizarlos en diferentes puntos de cada tramo.



Ilustración 6. Aforos en la Calle 19. FUENTE: Autores.



Ilustración 7. Aforos en la Vía 40. FUENTE: Autores.



Ilustración 8. Aforos en la Carrera 54 y Calle 72. FUENTE: Autores.

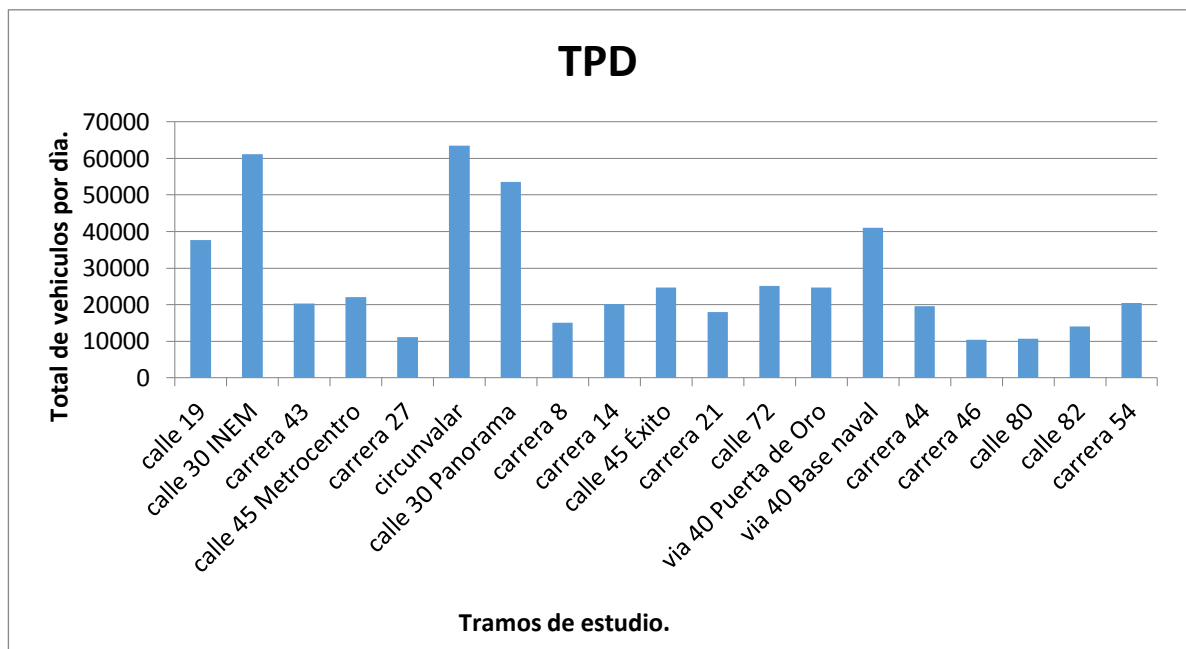
Al organizar la información es posible calcular un TPD y tipificar el tránsito en la ciudad (motos, vehículos ligeros, buses, vehículos pesados y Transmetro) para así obtener más variables de estudio, quedando de la siguiente manera:

VARIABLE	NOMENCLATURA EN EL MODELO	DESCRIPCIÓN	MIN	MAX	DESV
TRÁNSITO PROMEDIO DIARIO	TPD	Tránsito promedio diario en el segmento de la vía	10463	63535	16550,652
MOTOS	MOTOS	Porcentaje del número de motos en la vía	1,53	52,11	13,413
VEHICULOS LIGEROS	VEH	Porcentaje del número de vehículos ligeros en la vía	35,08	89,95	14,716

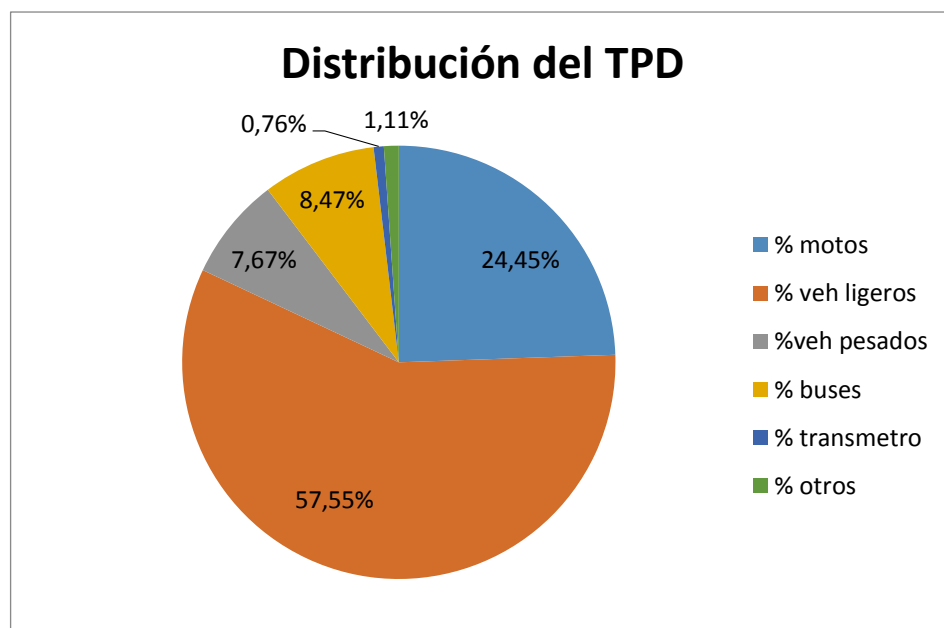
VEHICULOS PESADOS	VEHPES	Porcentaje del número de vehículos pesados en la vía	0,92	24,43	5,740
BUSES	BUSES	Porcentaje del número de buses en la vía	0,21	20,94	4,951
TRANSMETRO	TRANS	Porcentaje del número de Transmetro en la vía	0	10,48	2,687

Tabla 6. Variables de estudio continuas - aforo. FUENTE: Autores.

En la tabla 6 se presenta las variables tomadas de los aforos, donde el TPD está expresado en número de vehículos y las demás variables son expresadas como un porcentaje del TPD. La gráfica 12 muestra el tránsito promedio diario en los diferentes tramos de estudio y, como era de esperarse, las principales vías de la ciudad son las que presentan los TPD más altos, tales como la Circunvalar, Vía 40 y Calle 30.

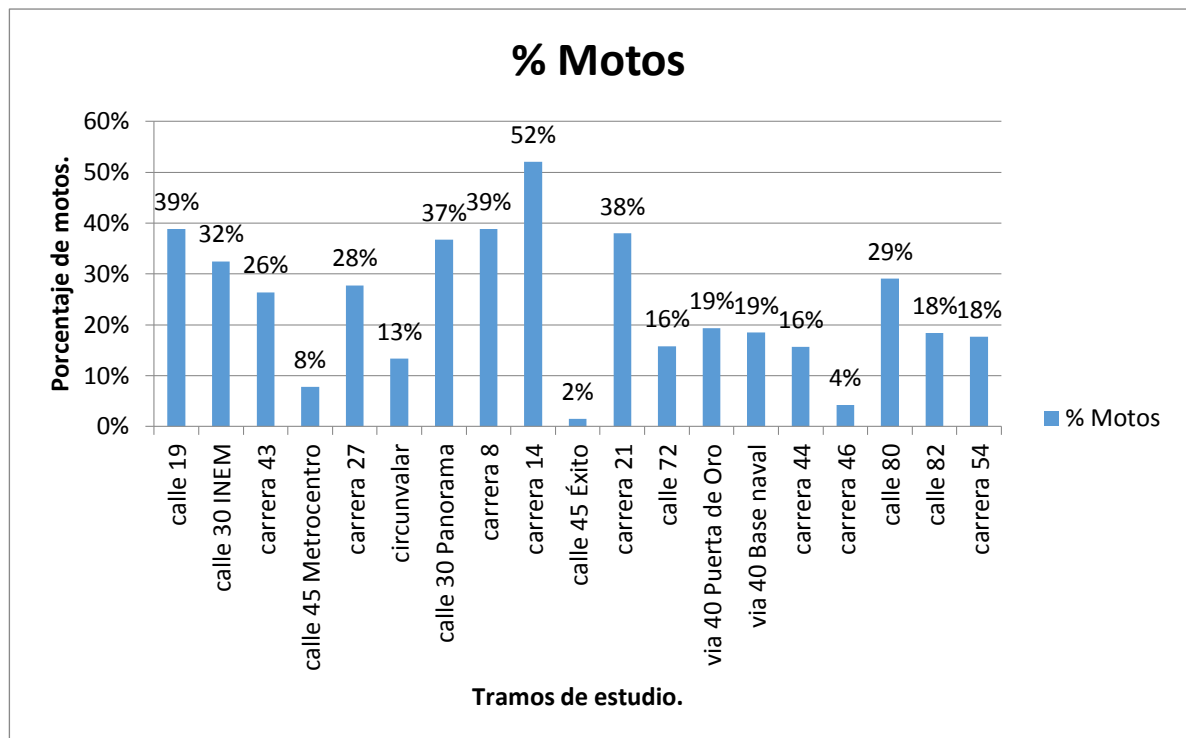


Gráfica 12. Tránsito promedio diario en los tramos de estudio. FUENTE: Autores.



Gráfica 13. Distribución del TPD. FUENTE: Autores.

La distribución del TPD, presentada en la gráfica 13, revela que más de la mitad vehículos son de tipo ligero, es decir, vehículos particulares o taxis, y representan un 57,55% del TPD. Luego siguen las motos con un 24,45%.



Gráfica 14. Porcentaje de motos en los tramos de estudio. FUENTE: Autores.

En la gráfica 14 se muestra los porcentajes de motos en cada uno de los tramos estudiados, y es posible apreciar que las vías con mayor porcentaje de motos son también las que cuentan con un mayor número de accidentes.

8.4 VARIABLES DE MODELACIÓN

Con las variables de estudio ya establecidas se procede a realizar la modelación con Poisson y Binomial negativo. De estos modelos lo que se tiene como propósito es observar de qué manera estas variables influyen en que exista mayor o menor probabilidad de ocurrencia de accidentes. Para esta investigación se trabaja con datos de accidentalidad de diferentes años (2013,2014 y mediados de 2015).

Las variables incluidas en los modelos fueron las que resultaron con mayor influencia para el objetivo de frecuencia en accidentalidad en vías urbanas de Barranquilla, las cuales fueron:

VARIABLE	DESCRIPCIÓN
ACCIDENTES	Número de accidentes
LONGITUD	Longitud del segmento de la vía en kilómetros.
PRESENCIA DE PARE	Número de intersecciones con señal de pare
ANCHO DE SEPARADOR	Ancho promedio del separador vial en el tramo
SEPARADOR VIAL	1 = Presencia separador, 0=No Presencia.
NUMERO DE PASOS PEATONALES	Número de pasos peatonales por segmento vial.

NUMERO DE INTERSECCIONES	Número de intersecciones por longitud.
ESTADO DE DEMARCACION	1 = Buena, 0 = Mala
MOTOS	Porcentaje del número de motos en la vía.
VEHICULOS LIGEROS	Porcentaje del número de vehículos ligeros en la vía.
VEHICULOS PESADOS	Porcentaje del número de vehículos pesados en la vía.
CARRIL DE TRANSMETRO	1 = Presencia de carril, 0 = No presencia
TRANSMETRO	Porcentajes del número de Transmetro en la vía.

Tabla 7. Variables utilizadas en los modelos. FUENTE: Autores.

9. RESULTADOS

Luego de realizar la modelación con Poisson y Binomial negativo, se obtienen diferentes modelos, donde es posible analizar las variables que tienen mayor o menor influencia en la ocurrencia de accidentes.

Para presentar los siguientes modelos se tuvo en cuenta los valores de Z para cada variable. Al momento de identificar si la variable es significativa o no, entran a jugar varios conceptos, por ejemplo alfa o error alfa, es la probabilidad seleccionada por el analista que refleja el grado de riesgo aceptable para rechazar la hipótesis nula cuando, de hecho, la hipótesis nula es verdadera. El grado de riesgo no es interpretable para un evento o resultado individual; en cambio, representa la probabilidad a largo plazo de cometer un error Tipo I.⁵ Cuanto más próximo a cero esté, menor será el riesgo de establecer hipótesis falsas en la población de estudio. Su valor se fija antes de comenzar la investigación, para conocer el número de individuos necesario para llevar a cabo el estudio. Cuanto más pequeño sea el error alfa mayor será el tamaño de la muestra y, por tanto, más precisos serán los resultados. Habitualmente este error se fija en 0.05, aunque puede variar dependiendo del tipo de investigación, en el presente trabajo se utiliza valor de Alfa correspondiente a 0.05.

Para determinar el valor que deben tener las variables en orden de ser significativas, se puede recurrir al valor de T o Distribución T Student. El nombre de la distribución se debe a su autor W.S. Gosset, quien le dio el seudónimo de T de Student ante la imposibilidad de presentar sus trabajos so pena de perder su empleo, esto sucedió a principio del siglo XX. Esta distribución es recomendada cuando se requiere estimar la media poblacional y no se conoce la desviación estándar y por lo tanto, hay que estimarla, eso sí, siempre y cuando la distribución original sea aproximadamente normal.⁶

⁵ (MANNERING, KARLFTIS y WASHINGTON 2003)
(Universidad de Antioquia s.f.)⁶

Otro término utilizado en ésta distribución continúa, es el de grados de libertad, el cual de manera intuitiva se expone así: el número de grados de libertad es igual al tamaño de la muestra (número de observaciones independientes) menos 1. A medida que se aumenten los grados de libertad, la distribución t, se aproxima a la distribución Z de la normal. En este proyecto se tienen como muestra 19 tramos de vía de la ciudad de Barranquilla, es decir que se tiene 18 grados de libertad para el estudio.

v	α						
	0.1	0.05	0.025	0.01	0.005	0.0025	0.001
1	3.078	6.314	12.706	31.821	63.657	318.309	636.619
2	1.886	2.920	4.303	6.965	9.925	22.327	31.599
3	1.638	2.353	3.182	4.541	5.841	10.215	12.924
4	1.533	2.132	2.776	3.747	4.604	7.173	8.610
5	1.476	2.015	2.571	3.365	4.032	5.893	6.869
6	1.440	1.943	2.447	3.143	3.707	5.208	5.959
7	1.415	1.893	2.365	2.998	3.499	4.785	5.408
8	1.397	1.860	2.306	2.896	3.355	4.501	5.041
9	1.383	1.833	2.262	2.821	3.250	4.297	4.781
10	1.372	1.812	2.228	2.764	3.169	4.144	4.587
11	1.363	1.796	2.201	2.718	3.106	4.025	4.437
12	1.356	1.782	2.179	2.681	3.055	3.930	4.318
13	1.350	1.771	2.160	2.650	3.012	3.852	4.221
14	1.345	1.761	2.145	2.624	2.977	3.787	4.140
15	1.341	1.753	2.131	2.602	2.947	3.733	4.073
16	1.337	1.746	2.120	2.583	2.921	3.686	4.015
17	1.333	1.740	2.110	2.567	2.898	3.646	3.965
18	1.330	1.734	2.101	2.552	2.878	3.610	3.922
19	1.328	1.729	2.093	2.539	2.861	3.579	3.883
20	1.325	1.725	2.086	2.528	2.845	3.552	3.850
21	1.323	1.721	2.080	2.518	2.831	3.527	3.819
22	1.321	1.717	2.074	2.508	2.819	3.505	3.792
23	1.319	1.714	2.069	2.500	2.807	3.485	3.768
24	1.318	1.711	2.064	2.492	2.797	3.467	3.745
25	1.316	1.708	2.060	2.485	2.787	3.450	3.725
26	1.315	1.706	2.056	2.479	2.779	3.435	3.707
27	1.314	1.703	2.052	2.473	2.771	3.421	3.690
28	1.313	1.701	2.048	2.467	2.763	3.408	3.674
29	1.311	1.699	2.045	2.462	2.756	3.396	3.659
30	1.310	1.697	2.042	2.457	2.750	3.385	3.646
35	1.306	1.690	2.030	2.438	2.724	3.340	3.591
40	1.303	1.684	2.021	2.423	2.704	3.307	3.551
45	1.301	1.679	2.014	2.412	2.690	3.281	3.520
50	1.299	1.676	2.009	2.403	2.678	3.261	3.496
100	0.290	1.660	1.984	2.364	2.626	3.174	3.390
∞	1.282	1.645	1.960	2.326	2.576	3.091	3.291

Tabla 8. Valores críticos Distribución T. Tomado de (Statistical and econometric methods for transportation analysis 2003)

Al tener establecidos los grados de libertad ϑ y el valor de alfa α es posible establecer el valor de T y con esto establecer en los modelos las variables significativas o no, esto se realiza con ayuda de la tabla de valores críticos para distribución T.

Entonces se puede afirmar que para este proyecto, una variable será considerada significativa al tener un valor en Z por encima de 1.73, dado caso de no presentarse esto, se debe buscar la mejor combinación de variables.

Teniendo esto presente, a continuación se muestran los modelos que mejor se comportan en las distribuciones, y el correspondiente análisis de cada una de las variables presentes en ellos.

9.1 MODELO 1

MODELO 1						
VARIABLES	POISSON			BINOMIAL NEGATIVO		
	Estimación	Z	Pr (> z)	Estimación	Z	Pr (> z)
(intercepto)	-0,41	-0,6	0,55	-0,38	-0,45	0,65
Longitud	0,47	5,1	3,4e-07	0,45	3,72	0,0002
Número de intersecciones	0,014	2,32	0,021	0,015	1,88	0,06
Motos	0,045	5,87	4,38e-09	0,045	4,68	2,87e-06
Separador vial	0,23	2	0,045	0,2	1,37	0,17
Vehículos pesados	0,051	4,63	3,63e-06	0,052	3,82	0,00013

Vehículos ligeros	0,019	2,91	0,0036	0,019	2,36	0,018
Carril de Transmetro	0,71	3,71	0,00021	0,72	2,97	0,0029
Logverosimilitud	-64,93			-127,64		

Tabla 9. Resultados obtenidos modelo 1 para Poisson y Binomial Negativo. FUENTE: Autores.

La variable con mayor significancia en el primer modelo es *Motos*. Los valores positivos de los coeficientes asociados a la presencia de motocicletas indican que a mayor tráfico de estas, mayor es el número de accidentes. En estudios se muestra que en el 78% de accidentes por lo menos una moto estaba involucrada, esto tiene que ver también con la manera de manejar de los usuarios de motos, ya que es más agresiva y no presenta tanto entrenamiento comparado con el de un conductor de automóvil (Guerrero Barbosa, Espinel Bayona y Palacio Sanchez 2015). Barranquilla, no es ajena a esta situación, el fácil acceso a este tipo de vehículo, ya sea por motivos de economía o de rigurosidad en los procesos, y además la imprudencia en los conductores (sean mototaxis o particulares) al no tener muchas veces un entrenamiento, trae consigo una mayor probabilidad de ocurrencia de accidentes.

La variable *longitud*, muestra que en tramos más largos existe mayor ocurrencia de accidentes, es posible que esta situación se presente debido a que se aumenta la probabilidad de encontrar en el tramo vial más intersecciones, entre otros factores que juntos influyen en la frecuencia de accidentes.

La variable *Número de intersecciones*, representa el número de intersecciones por longitud. El número de intersecciones presenta un comportamiento directamente proporcional a la frecuencia de accidentes. Su signo positivo indica que las intersecciones aumenta la probabilidad de choques con muertos y heridos, debido a que existen más puntos de acceso a las secciones de vía y que pueden generar

conflictos en el cruce, ya sea entre vehículos o vehículos y peatones. (Guerrero Barbosa, Espinel Bayona y Palacio Sanchez 2015).

El *separador vial* posee un signo positivo, es decir que la presencia de estos tiene incidencia al momento de ocurrir un accidente de tránsito. Esto puede darse debido al mayor número de vehículos que transitan por la vía, ya que al hablar de separador, se puede pensar en una vía multicarril y esto se traduce en un mayor volumen de vehículos transitando, lo que aumenta las probabilidades de que en algún momento ocurra un accidente de tránsito. Y más aún cuando se introducen otros factores como velocidad y la imprudencia del conductor al querer adelantar.

Zeng, Huang, Pei, & Wong (2016) en su escrito Modeling nonlinear relationship between crash frequency by severity and contributing factors by neural networks, de las diferentes variables estudiadas, la presencia o no de un separador en la ocurrencia de accidentes leves o accidentes fatales fue trabajada. Y según los resultados, se encuentra que la presencia de separadores reduce la ocurrencia de accidentes leves en casi todas las reglas presentadas en el estudio. Pero cabe destacar que en algunos casos fue positivo el coeficiente estimado, para estos casos se tiene que el 90% de los segmentos de vía poseen separadores, estos se presenta en vías internas de ciudades con tráfico pesado (media=36538 vehículos) lo que se puede traducir en más lesiones de accidentes leves, es decir con heridos, relacionados con separadores.

Los *vehículos pesados* se presentan con signo positivo en el modelo. A mayor presencia de vehículos pesados mayor es la probabilidad de accidentes, esto puede darse debido a que estos vehículos viajan a menores velocidades, lo que trae consigo que los demás conductores quieran adelantar y se produzca un accidente al estar en vías de doble sentido pudiendo encontrar un vehículo que se aproxime en dirección opuesta. (Guerrero Barbosa, Espinel Bayona y Palacio Sanchez 2015).

El variable *carril de Transmetro*, la cual presenta signo positivo en el modelo, indica la presencia del carril exclusivo de Transmetro en una vía. La presencia de

estos carriles aumenta potencialmente la probabilidad de que ocurra un accidente, esto se ve reflejado con el valor de la estimación de esta variable, la cual es la más alta del modelo. Los buses de Transmetro que utilizan este carril exclusivo suelen viajar a altas velocidades, esto sumado a las imprudencias de los peatones y demás vehículos que suelen usar el carril para evitar embotellamientos, son la razón por la cual el riesgo de que se presente un accidente en estas vías sea tan elevado.

9.2 MODELO 2

MODELO 2						
VARIABLES	POISSON			BINOMIAL NEGATIVO		
	Estimación	Z	Pr (> z)	Estimación	Z	Pr (> z)
(intercepto)	-1,2	-1,21	0,22	-2,08	-1,18	0,24
Motos	0,06	4,92	8,5e-07	0,071	3,18	0,0015
Vehículos ligeros	0,039	3,67	0,00024	0,047	2,51	0,012
Vehículos pesados	0,089	5,28	1,24e-07	0,1	3,51	0,00045
Numero de intersecciones	0,024	4,41	1,05e-05	0,026	2,55	0,011
Estado de demarcación	-0,33	-2,28	0,022	-0,4	-1,67	0,094
Transmetro	0,17	4,06	5,0e-05	0,21	2,7	0,0068
Ancho de separador	-0,013	-1,8	0,073	-0,016	-1,08	0,28
Logverosimilitud	-81,29			-139,59		

Tabla 10. Resultados obtenidos modelo 2 para Poisson y Binomial Negativo. FUENTE: Autores.

La variable *vehículos pesados* posee un valor positivo para el presente modelo, al igual que en el modelo anterior, pero destacando en este, que ahora se convierte en la variable de mayor significancia.

La variable *vehículos ligeros* presenta un valor significativo y signo positivo lo que indica que un aumento en el porcentaje de ellos en los segmentos de vía, pueden aumentar la ocurrencia de accidentes. Como nos indica Ma, Zhang, I-Jy Chien, Wang, & Dong (2017) en su investigación, que a medida que el porcentaje de vehículos ligeros aumenta, el porcentaje de vehículos pesados se ve reducido, y con eso también disminuye la atención del conductor, pero aumenta la velocidad resultando así una condición potencial de choque. Hay que destacar que los vehículos ligeros son los causantes de la mayoría de accidentes con peatones.

La presencia del *Transmetro* hace que aumente el número de accidentes en el tramo, esta variable da un resultado particular, ya que al igual que el *carril de Transmetro* en el modelo anterior, en este modelo la variable *Transmetro* presenta el valor de estimación más alto, lo cual indica que su presencia aumenta en mayor proporción la ocurrencia de accidentes de tránsito.

En este modelo se introduce la variable *estado de demarcación*, que representa el estado de la señalización horizontal en las vías. Es una variable muda que toma el valor de 1 cuando la demarcación es buena o regular y 0 cuando la demarcación se encuentra borrosa o es nula. Es posible observar que la demarcación tiene una incidencia negativa en el modelo, es decir, que la demarcación en buen estado reduce el riesgo de que se presente un accidente. Esto tiene mucha lógica, debido a que la señalización horizontal es muy importante, esta indica cuando se debe reducir la velocidad, cuando se puede o no rebasar un auto, o cuando se debe mantenernos el carril, el hecho de que estas demarcaciones estén en mal estado representa un grave riesgo, ya que genera mayor imprudencias por parte de los usuarios.

En el modelo se tiene presente la variable *ancho de separador* con un valor de (-1.8) destacando aquí su signo. Al ser negativo indica que en un tramo de vía un separador más ancho puede contribuir a la disminución de accidentes. Como lo presenta en su investigación Agbelie (2016), la variable ancho de separador al presentar un incremento de unidad disminuye anualmente el número de accidentes por 0.003 para 96.68% de los segmentos de vía, mientras que en el mismo margen, incrementa el número de choques solamente en un 3.32%. Este resultado demuestra que los segmentos de vía con separadores amplios generalmente disminuye el número de accidentes por año. Esto es debido a que asumiendo una probabilidad de choque, el separador más amplio sirve como una zona neutral para evitar el impacto y escapar.

9.3 MODELO 3

MODELO 3						
VARIABLES	POISSON			BINOMIAL NEGATIVO		
	Estimación	Z	Pr (> z)	Estimación	Z	Pr (> z)
(intercepto)	-1,73	-11,57	0,12	-1,48	-0,98	0,32
Motos	0,044	4,55	5,47e-06	0,042	3,1	0,002
Vehículos ligeros	0,031	3,13	0,0017	0,029	2,16	0,031
Vehículos pesados	0,07	3,4	0,00069	0,067	2,37	0,018
Número de intersecciones	0,16	2,6	0,0092	0,14	1,77	0,077
Número de pasos peatonales	-0,099	-2,02	0,043	-0,09	-1,38	0,17
Separador vial	0,45	4,31	1,62e-05	0,43	2,91	0,0037
Longitud	0,44	4,46	8,04e-06	0,41	2,72	0,0066

Presencia de pare	-0,12	-2,17	0,03	-0,1	-1,41	0,16
Logverosimilitud	-69,38			-132,88		

Tabla 11. Resultados obtenidos modelo 3 para Poisson y Binomial Negativo. FUENTE: Autores.

Al igual que en los demás modelos presentados anteriormente, se obtiene que la variable *número de intersecciones* muestra un valor positivo de Z, esto indica que a mayor número de intersecciones por longitud de tramo existe mayor probabilidad de que ocurra un accidente y esto se da, debido a que en una intersección hay diferentes actores del tránsito tales como automóviles, motocicletas, buses y peatones, todos ellos que van a realizar un cruce lo que trae consigo la probabilidad de que se pueda dar un accidentes.

La variable *longitud* vuelve a presentar un coeficiente positivo, esto significa que a una mayor longitud, se da una mayor probabilidad de ocurrencia de accidentes de tránsito. En su estudio de optimización de una red neuronal para la modelación de frecuencia de accidentes, Zeng, Huan, Pei, & Gao (2016) encontraron para sus diferentes reglas establecidas que muchos de los accidentes ocurren en vías largas, porque la longitud del segmento es casi siempre interpretada como una variable de exposición de choque en análisis de autopistas.

La variable *separador vial* posee un valor positivo para el presente modelo. Teniendo en cuenta que la ocurrencia de accidentes se da por la suma de diferentes factores, Donell & Mason Jr (2005) se enfocan en la frecuencia de accidentes causados por separadores y los factores que influyen en estos. Para esto utiliza el modelo Poisson y Binomial – Negativo, con variables como, alineamiento horizontal, volúmenes de tránsito, entre otros, de los que obtuvieron resultados como, el aumento del límite de velocidad influye en la ocurrencia de accidentes, así como grandes volúmenes de tráfico aumentan la frecuencia de accidentes con separadores.

La variable *número de pasos peatonales* muestra un valor negativo, es decir, contribuyen en la disminución de accidentes. Esta situación se puede dar debido a que la presencia de estos en los tramos de vías obliga al conductor a estar alerta de los posibles peatones que transiten por esta, además de disminuir la velocidad y con esto prevenir los choques de vehículo – peatón. Cabe destacar que al momento de realizar el modelo de Binomial negativo la variable paso peatonal pierde su significancia al ser el coeficiente menor que el valor crítico (-1.38), y con esto la variable no tiene tanta influencia en la disminución de accidentes como otras.

La variable *presencia de pare*, como es de esperarse contribuye a una disminución en la ocurrencia de accidentes de tráfico en las vías y esto se confirma con el valor negativo y significativo que presenta en ambos modelos (Poisson y Binomial Negativo). De igual manera, se presenta en la investigación realizada por Agbelie (2016) en donde el incremento de la presencia de una señal de pare puede disminuir la frecuencia de accidentes por 2.471 en un 87.24% de los segmentos de vía. Esto puede ocurrir debido a que a medida que se presentan más señales de pare se obliga al conductor a disminuir la velocidad y aumentar su sentido de alerta al acercarse a una intersección con este tipo de señal.

10. CONCLUSIONES

Con la realización de este proyecto es posible destacar la importancia que tiene el estudio de todos los actores del tránsito en la accidentalidad, ya que la seguridad comprende desde el peatón hasta el policía de tránsito ubicado por las autoridades en la intersección, es decir que compete a todos, y se puede afirmar que el estudio de los factores decisivos para la frecuencia de accidentes de tránsito en vías urbanas de Barranquilla, cobra valor para la mejora de las condiciones de vida de sus habitantes.

Los resultados de los modelos de Poisson y Binomial negativo arrojan similitudes, una de las principales es que con ambos modelos, la *longitud* es uno de los factores con mayor significancia en la frecuencia de accidentes con muertes y heridos, indicando que a mayor longitud, mayor es la probabilidad de que ocurra un accidente.

De igual manera, otro de los factores que presenta un mayor efecto sobre la frecuencia de accidentes es el *número de intersecciones*, esto es claro debido a que a mayor número de intersecciones, mayor es el número de actores que intervienen en el tránsito al momento de un cruce, tales como peatones, motos, vehículos ligeros, entre otros, todos ellos pueden contribuir a que ocurra un accidente leve o fatal. Y es que en cada esquina de Barranquilla siempre hay un riesgo de choque entre vehículos que circulan por diferentes vías y se encuentran al momento de llegar a la intersección. Evitar este tipo de accidentes por culpa de la presencia de intersecciones es complicado, debido a que en la mayoría de las ocasiones está íntimamente relacionado con la imprudencia de los usuarios, sin embargo se pueden tomar medidas para reducir estos accidentes, atacando otros factores que están relacionados directamente con la variable. Por ejemplo, el *estado de demarcación*, que en el modelo 2 demostró reducir la frecuencia de accidentalidad en vías con señalización en buen estado. En las intersecciones estas demarcaciones son muy importantes, y son muy pocas las vías en Barranquilla en las que estas aún existen y se ven con claridad. Esto afecta también la variable *número de pasos peatonales*, ya que en muchas calles estas demarcaciones ya se encuentran borrosas, y en otras no se encuentra ni un solo paso peatonal en un 1 km de distancia, como resultado tenemos a los peatones

atravesando las calles en cualquier punto exponiendo su vida a cualquier tipo de accidentes. Recomendación, reparar todas las señales horizontales de la ciudad y tenerlas en permanente mantenimiento, este sería un trabajo en conjunto con las autoridades de tránsito, la alcaldía y la comunidad, que si bien se realizan trabajos en las vías todavía se puede hacer mucho más.

Otro factor que entra a jugar un papel importante en las intersecciones y la disminución de accidentes en ellas es la *presencia de pare*, al presentarse estos en la vía se tiene una disminución notoria en la frecuencia de accidentes. En este caso es necesario tener un cuidado de ellos, porque en muchas ocasiones son víctimas del vandalismo de algunos ciudadanos que los llenan de graffitis, los golpean , entre otras cosa, haciendo que estos no cumplan debidamente su función, la cual es despertar en el conductor un sentido de alerta al momento de llegar a una intersección.

Es posible analizar que la variable *motos*, es otro factor con gran influencia en la accidentalidad, esto se debe a que el aumento de estos representa un gran peligro, sobre todo por la falta de responsabilidad de los conductores, quienes no tienen ningún tipo de cuidado ni respeto, exponiendo no solo sus propias vidas, sino también la de las personas a su alrededor. Una de las medidas a tomar sería la regulación de estas, actualmente en la ciudad se tiene restricciones de motos, motocarros y cuatrimotos en algunos sectores de la misma, y por ciertos horarios, pero se tiene que estas no han sido lo suficientemente rigurosas, y es necesario crear un plan de trabajo más eficiente para lograr disminuir la gran influencia que las motos tienen en la frecuencia de accidentes.

Además otro de los factores que se destaca de manera inusual en la frecuencia de accidentes es la presencia de *Transmetro*, con un resultado de 0,17 en la estimación. Estos vehículos presentan una “importancia” mayor en la movilidad de la ciudad, y al tener un carril exclusivo, tienen mayores velocidades de recorrido, sumando eso a la imprudencia de algunos conductores de trasladarse a dichos carriles violando los separadores, teniendo como resultado un aumento en el riesgo de accidentes.

A pesar de las muchas similitudes que presentan estos dos modelos, Poisson y Binomial Negativo, por medio de la logverosimilitud es posible apreciar que en los tres modelos realizados es mayor el valor para los modelos de Poisson, con esto es posible afirmar que resulta más acertado modelar con Poisson obteniendo que los factores que más incidencia tienen en la frecuencia de accidentes son: *Número de Intersecciones, motos, separador vial, longitud, vehículos pesados y Transmetro.*

Con la realización de este proyecto se puede contribuir a la seguridad y el tráfico de la ciudad, ya que puede ser una herramienta que sirva a las autoridades para hacer frente a los problemas de movilidad que se viven y con esto atacarlos de una manera eficaz. Además de las recomendaciones anteriormente dichas, como, realizar un mantenimiento preventivo a las señales de tránsito verticales y horizontales, entre otras, también se pueden implementar mejoras a las políticas de tránsito existentes y más rigurosidad en los procesos por ejemplo para los motociclistas. Asimismo para futuras investigaciones pueden utilizarse diferentes distribuciones, tales como cero inflado, Gamma, entre otros, y así compararlos con los resultados obtenidos y el comportamiento de las variables e igualmente se podría incluir variables que tengan que ver con los factores medioambientales así como factores sociales, es decir el comportamiento, estrato social de los usuarios y demás, que nos puedan arrojar resultados interesantes para estudiar.

REFERENCIAS

- ABDEL-ATY, Mohamed, y RADWAN, Essam. Modeling traffic accident occurrence and involment. *Accident Analysis & Prevention* Vol. 32 (2000): 633-642.
- AGBELIE, Bismark. Random-parameters analysis of highway characteristics on crash frequency and injury severity. *Journal of Traffic and Transportation Engineering* Vol. 3 (2016): 236-242.
- AGBELIE, Bismark, ARASH Roshandeh. Impact of signal-Related characteristics on crash frequency at urban signalized intersections. *Journal of Transportation Safety & Security*, 2015: 199-207.
- ARÉVALO, Andrea. *FACTORES DETERMINANTES DE LA FRECUENCIA DE ACCIDENTES EN VÍAS RURALES: ANÁLISIS SOBRE LAS CARRETERAS COLOMBIANAS*. Barranquilla: Universidad del Norte, 2015.
- CANTILLO, Víctor, GARCÉS, Patricia; MÁRQUEZ, Luis. Factors influencing the occurrence of traffic accidents in urban roads; A combined GIS-Empirical Bayesian approach. *DYNA* Vol. 83 (2016): 21-28.
- CASTRILLÓN, Antonio Dourthé. *GUÍA PARA REALIZAR UNA AUDITORÍA DE SEGURIDAD VIAL*. Santiago de Chile: CONASET, 2003.
- CHANG, Li-yen; CHU, Hsing-chung, Da-jie LIN, y Pei LULi. Analysis of freeway accident frequency using multivariate adaptive regression splines. *Procedia Engineering*, 2012: 824-829.
- CHIUO, Yu-Chin; FU, Chiang. Modeling crash frequency and severity using multinomial-generalized Poisson model with error components. *Accident Analysis & Prevention* Vol.50 (2013): 73-82.
- DONELL, Eric; MASON JR, Jhon. Predicting the frequency of median barrier crashes on Pennsylvania interstate highways. *Accident Analysis and Prevention* Vol.38 (2005): 590-599.
- DONG, Chunjiao; RICHARDS, Stephen; CLARKE ,David;ZHOU, Xuemei; MA ,Zhaunglin.. Examining signalized intersection crash frequency using multivariate zero-inflated Poisson regression. *Safety Science* Vol.70 (2014): 63-69.
- Forensis. Comportamiento de muertes y lesiones por accidentes de transporte. Colombia, 2015. Bogota, 2016.

- GUERRERO BARBOSA, Thomas; ESPINEL BAYONA ,Yenica, y PALACIO SÁNCHEZ ,Darwin. Effects of the Attributes Associated with roadway geometry, traffic volumen and speeds on the incidence of accidents in a mid-size City. *Ingeniería y Universidad* Vol.19 (2015): 351-367.
- HOSSEINPOUR, Mehdi; YAHAYA, Ahmad, y SADULLAH, Ahmad. Exploring the effects of roadway characteristics on the frequency and severity of head-on crashes: Case studies from Malaysian Federal Roads. *Accident Analysis & Prevention* Vol.62 (2014): 209-222.
- KUMARA, S. S. P., y H. C. CHIN. Modeling Accident Occurrence at Signalized Tee Intersections with Special Emphasis on Excess Zeros. *Traffic Injury Prevention* Vol.4 (2010): 53-57.
- LLOYD, Louise, y FORSTER, Jonathan. «Modelling trends in road accident frequency— Bayesian inference for rates with uncertain exposure.» *Computational Statistics & Data Analysis*, 2014: 189-204.
- LORD, Dominique. Modeling motor vehicle crashes using Poisson- Gamma modeling: Examining the effect of low sample mean values and small sample size on he estimation of the fixed dispersion paremeter.» *Accident Analysis and Prevention* Vol.38 (2006): 751-766.
- LORD, Dominique, y MANNERING, Fred. The statistical analysis of crash-frequency data: A review and assessment of methodological altenatives. *Trnsportation research part A: Policy and practice* Vol. 43 (2010): 291-305.
- MA, Zhuanglin; ZHANG, Honglu; I-JY CHIEN, Steven; WANG, Jin, y DONG, Chunjiao. Predicting expressway crash frequency using a random effect negative binomial model. A case study in China. *Accident Analysis and Prevention* 98 (2017): 214-222.
- MANNERING, Fred; KARLFTIS, Matthew, y WASHINGTON, Simon. *Statistical and econometric methods for transportation analysis*. segunda edición. Chapman & Hall, 2003.
- MIAU, Shaw Pin. The relationship between truck accidents and geometric designs of road sections : Poisson versus Negative Binomial Regressions. *Accident Analysis & Prevention* Vol.26 (1994): 471- 482.
- OMS. Informe sobre la situación mundial de la seguridad vial 2015. 2015.

SECRETARIA DISTRITAL DE MOVILIDAD. METODOLOGÍA PARA EL ANÁLISIS DE LA SEGURIDAD VIAL EN SITIOS CRÍTICOS DE LA CIUDAD DE BARRANQUILLA. Barranquilla, 2011. Tomado de: www.barranquilla.gov/movilidad

SERRET MORENO-JIL, Jaime. *MANUAL DE ESTADÍSTICA UNIVERSITARIA (INDUCTIVA)*. MADRID: ESIC EDITORIAL, 1995.

SHANKAR, V; MANNERING, Fred, y W BARFIELD. Effect of roadway geometrics and environmental factors on rural freeway accident frequencies. *Accident Analysis & Prevention* Vol. 27 (1995): 371- 389.

SHENKER, Ravi, Arti CHOWKSEY, y SANDHU, Har Amrit Singh. «Analysis of relationship between parameters of four lane National highway in India.» *IOSR Journal of Business and Management*, 2015: 60-70.

Universidad de Antioquia. *Aprende en línea. Plataforma academica para pregrado y postgrado*. s.f.
<http://aprendeonline.udea.edu.co/lms/moodle/mod/page/view.php?id=35730>
(último acceso: 30 de Enero de 2017).

WASHINGTON, Simon, MATTHEW, Karlaftis, y MANNERING, Fred. *Statistical and econometric methods for transportation data analysis*. Cahpman & Hall, 2003.

Xli, Jianfeng, ZHAO, Zhonghao, Wei L, y Wang QUAN. A traffic accident causation analysis method based on AHP-Apriori. *Procedia Engineering* Vol 137 (2016): 680-687.

ZENG, Qiang; HUANG, Helai, PEI, Xin, y S.C WONG. Modeling nonlinear relationship between crash frequency by severity and contibuiting factors by neural networks. *Analytic Methods in Accident Research* Vol.10 (2016): 12-25.

ZENG, Quiang; HUANG, Helai; PEI, Xin; GAO, Mingyun. Rule extraction from a optimized neural network for traffic crash frequency modeling. *Accident analysis and prevention*. Vol. 97 (2016): 8-95.